

不同基因型玉米间作的群体质量

刘天学^{1,2}, 李潮海^{1,*}, 付 景¹, 闫成辉¹

(1. 河南农业大学农学院, 中华人民共和国农业部玉米区域技术创新中心, 郑州 450002; 2. 周口师范学院生命科学系, 周口 466000)

摘要: 采用大田试验, 研究了不同基因型玉米间作的群体质量特征。结果表明, HF9 || XD20 间作, 植株中部叶片平均叶龄延长, 而对下部和上部叶片影响不大; ZD958 || LD981 间作, ZD958 植株下部叶片平均叶龄延长, 而中、上部叶片则缩短, LD981 植株下、中、上部叶片平均叶龄均有所延长。吐丝前, 群体叶面积指数 (*LAI*) 单间作无明显差异, 吐丝后, HF9 和 LD981 的 *LAI* 分别大于和显著大于单作群体, 而 ZD958 和 XD20 则分别小于和显著小于单作群体。紧凑型品种和半紧凑型品种间作增加了群体透光率, 吐丝后 10d, 4 个品种棒三叶叶色值 (*SPADR*) 均有所增加, 并且除 ZD958 外, 其余 3 个品种棒三叶净光合速率均有所增加, 其中 LD981 增加显著。间作对吐丝以前的群体干物质积累量影响不大, 吐丝后, 半紧凑型品种 (HF9 和 LD981) 的干物质积累量增加, 其中 LD981 增加显著, 而紧凑型品种 (XD20 和 ZD958) 的干物质积累量减少, 其中 ZD958 显著减少; 间作还提高了收获指数, 并且两种间作群体的土地当量比 (*LER*) 均大于 1。结果提示, 紧凑型与半紧凑型玉米品种的间作可以提高群体质量, 延长叶片功能期, 提高光合效率, 增加籽粒产量。

关键词: 基因型; 玉米; 间作; 群体质量

文章编号: 1000-0933 (2009)11-6302-08 中图分类号: S513 文献标识码: A

Population quality of different Maize (*Zea mays* L.) genotypes intercropped

LIU Tian-Xue^{1,2}, LI Chao-Hai^{1,*}, FU Jing¹, YAN Cheng-Hui¹

1 Agronomy College, Henan Agricultural University, Regional Center for New Technology Creation of Corn of Department of Agriculture of People's Republic of China, Zhengzhou 450002, China

2 Department of Life Science, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466000, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(11): 6302 ~ 6309.

Abstract: A field experiment on population quality of different maize (*Zea mays* L.) genotypes intercropped was conducted on the farm of Henan Agricultural University, Zhengzhou, China. The results showed that, compared with that in sole-cropping treatment, mean leaf age of the middle leaves of HF9 and XD20 was lengthened in treatment of HF9 intercropping with XD20, while mean leaf age of the upper and lower leaves changed insignificantly. In treatment of ZD958 intercropping with LD981, mean leaf age of LD981 and that of the lower leaves of ZD958 were lengthened while that of middle and upper leaves shortened. No significant difference was observed in leaf area index (*LAI*) before silking between sole-cropping and intercropping treatments. However, after silking, *LAI* of HF9 increased while that of XD20 decreased significantly. *LAI* of LD981 increased significantly while that of ZD958 decreased slightly. Population transmittance of maize was increased when compact-plant-type hybrids intercropped with semi-compact-plant-type hybrids. Soil and plant analyzer development readings (*SPADR*) of the three-ear-leaves 10 days after silking of the four maize hybrids were increased in intercropping treatments. Net photosynthetic rate (*Pn*) for all the four hybrids except ZD958, in particular, increase in *Pn* of LD981 was significant. Dry matter accumulation (*DMA*) before silking in intercropping treatments changed slightly. After silking, *DMA* of semi-compact-plant-type hybrids, HF9 and LD981, was increased while that of compact-plant-type hybrids, XD20 and ZD958, was decreased. Among them, increase in LD981 and decrease in ZD958 was significant. Meanwhile, harvest

基金项目: 国家粮食丰产科技工程资助项目(2006BAD02A07-3); 国家自然科学基金资助项目(30771265)

收稿日期: 2008-06-26; 修订日期: 2009-07-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lichao hai2005@ yahoo. com. cn

index and land equivalent ratio were enhanced in intercropping treatments. The results from this study suggested that quality of maize population was improved, leaf life span was lengthened, and leaf photosynthetic efficiency and grain yield were increased when compact-plant-type hybrids intercropping with semi-compact-plant-type hybrids.

Key Words: genotype; maize (*Zea mays* L.); intercropping; population quality

作物生产是作物群体的生产。构建合理的群体结构,协调群体与个体的矛盾,充分发挥个体潜力,是实现作物高产的根本保证。长期以来,在以提高产量为主攻目标的人工选择压力下,作物群体的遗传基础日益狭窄,农田生态系统十分脆弱。通过不同形态、生态型、生育期作物的合理间作,形成不同时空生态位互补的复合群体,不仅能够增强农田生态系统的稳定性、最大限度地提高作物群体对逆境胁迫的抗性,而且能够提高光、热、水、肥、土、气等自然资源的利用效率,从而实现作物群体的丰产稳产^[1,2]。大量的科学试验和生产实践证明,玉米与其他作物间作具有明显的生产优势^[3-8],已成为国内外农业生产上应用最广的一种间作模式。但不同作物之间的间作难以适应日益普及的农业机械化生产。近年来,有关双基因型玉米间混作的报道日益增多。玉米是雌雄同株异花授粉,杂种优势非常显著的作物。在正常条件下,玉米群体内异株授粉率达70%,当代杂种优势明显。应用血缘关系远缘、花期一致或花期相近的不同玉米品种进行间作,并隔行去雄,玉米增产效果显著^[9]。高、矮不同的品种间作,可改善群体的通风透光条件,增加边际效应,显著提高群体产量^[10]。抗性不同的品种间作组合,可以增强群体抗逆性,并且在后期可维持较高的叶面积、叶绿素含量和光合速率,有利于实现玉米的高产和稳产^[11,12]。不同基因型玉米复合群体抗逆性和产量的提高源于群体质量的改善,但以往的研究过多关注于产量结果,而对双基因型玉米群体质量的研究涉及较少。本研究的目的是明确不同株型玉米间作的群体特征和物质生产特点,以期为确立双基因型玉米间作的品种组合模式及其生产应用积累理论依据。

1 材料与方法

1.1 品种特性与试验组合

滑丰9号(用HF9表示,下同)、鲁单981(LD981)为半紧凑型品种,浚单20(XD20)、郑单958(ZD958)为紧凑型品种。6个处理分别为HF9 || XD20间作及单作HF9、XD20, ZD958 || LD981间作及单作ZD958、LD981。单作用S表示,如YY19单作表示为YY19S;间作用I表示,如HF9间作表示为HF9I,下同。在两种间作模式中,滑丰9号与浚单20株高基本一致,鲁单981植株则明显高于郑单958。

1.2 试验设计

试验在河南农业大学科教园区试验田进行。试验地为壤土,地势平坦,排灌方便,地力均匀,耕层土壤含有机质 $15.8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,碱解氮 $71\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效磷 $15\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,速效钾 $156.2\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。试验采用完全随机区组设计,单作和间作6个处理,4次重复。间作的行比为1:1,采用南北行向宽窄行种植,宽行70cm,窄行50cm,密度为 $67500\text{株}\cdot\text{hm}^{-2}$ 。小区面积为 $6\text{m}\times 6\text{m}$,小区四周留1m宽隔离带。于6月8日播种,9月24日收获。按照每公顷 $\text{N}:\text{P}_2\text{O}_5:\text{K}_2\text{O} = 225\text{kg}:112.5\text{kg}:112.5\text{kg}$ 施肥,其中,拔节期每公顷追施复合肥($\text{N}15\%、\text{P}_2\text{O}_5 15\%、\text{K}_2\text{O} 15\%$) 300kg 和尿素 98kg ,大喇叭口期每公顷追施复合肥 450kg 和尿素 147kg 。播种后浇蒙头水,出苗后保证水分供应,其它管理同一般大田。

1.3 测定项目

1.3.1 群体质量指标测定

从出苗至收获,每个小区定5株观察记录叶龄期(自叶片全部展开到叶片全部枯黄),并测量叶面积,计算不同生育阶段群体叶面积指数(LAI);分别在拔节期、大口期、吐丝期和成熟期,每个小区中间6行随机取3株于 60°C 条件下烘干,测定干物质重量;吐丝后10d,在每个小区中间4行随机选择3株,用SPAD-502叶色计测定棒三叶叶色值(SPADR),用英国PPsystem公司生产的CIRAS-2型便携式光合仪测定棒三叶净光合速率

(P_n),用 LAI-2000 植物冠层分析仪测定群体透光率。

1.3.2 计产和土地当量比(LE R)的测算

收获时每个小区取中间 4 行计产,间作分品种进行。 $LE\mathit{R} = \sum y_i/y_{ii}$,式中 y_i 代表单位面积内间套作中的各作物的实际产量, y_{ii} 代表该作物在同样单位面积上单作的产量^[13]。

1.4 数据统计分析

运用 Excel 对群体质量指标和产量进行统计分析,采用 t -检验中的双样本等方差假设对单、间作处理的有关指标进行差异显著性检验。

2 结果与分析

2.1 双基因型玉米间作对叶片发育及群体叶面积指数(LAI)的影响

2.1.1 双基因型玉米间作对叶片发育进程的影响

由图 1 可以看出,HF9 || XD20(图 1A、1B、1C、1D)对植株下部(1~7 叶)和上部(16~20 叶)叶片的叶龄影响不大,而中部叶片(8~15 叶)的平均叶龄,HF9I 和 XD20I 分别比 HF9S 和 ZD20S 长 4.25d 和 3.50d,差异不显著($P < 0.05$),但第 8 叶,间作群体的叶龄较长,而单作群体则衰老较早,差异显著($P < 0.05$)。ZD958 || LD981(图 1E、1F、1G、1H),ZD958S 下部叶片中的第 6、7 叶衰老较早,平均叶龄较 ZD958I 少 3.57d,而 ZD958I 中、上部叶片普遍较单作出叶延迟 2~4d,平均叶龄较 ZD958S 分别少 3.13d 和 2.00d,差异均不显著($P < 0.05$);LD981I 中部和下部叶片平均叶龄较 981S 分别长 3.38d 和 10.28d,后者差异显著($P < 0.05$),另外,LD981I 中部叶片普遍较 LD981S 出叶延迟,而上部叶片第 17~20 叶则出叶较早。

叶片衰老是一个循序渐进的过程,首先衰老的是下部叶片,而后是上部叶片,最后是中部叶片。本试验采用的 4 个品种的叶片保绿性较好,中、上部叶片基本能持绿至籽粒成熟。间作群体两品种地上部分的相互作用在封行之后,此时,基部叶片已处于衰老后期,影响较大的是中、下部叶片的衰老和上部叶片的出叶进程,并且株高一致的 HF9 和 XD20 间作主要影响中、下部叶片的衰老,株高差异较大的 ZD958 和 LD981 间作对中、下部叶片的衰老和上部叶片的出叶进程均有影响。

2.1.2 双基因型玉米间作对群体叶面积指数(LAI)的影响

由图 2 可见,4 个品种的单、间作群体的 LAI 的变化趋势基本一致,3 叶期至拔节期 LAI 增长缓慢,拔节以后增长迅速,至吐丝期达到最大,以后缓慢下降。同一品种的单、间作群体 LAI 在大口期以前差异不大,大口期以后差异增大,但均未达到显著水平;在 LAI 最大的吐丝期,HF9 间作群体 LAI 比单作群体大 0.182,差异不显著($P < 0.05$);而 XD20 间作群体 LAI 则比单作群体小 0.323,差异显著($P < 0.05$);ZD958 间作群体 LAI 与单作基本一致,而 LD981 间作群体 LAI 则比单作群体大 0.340,差异显著($P < 0.05$)。结果显示,半紧凑型品种与紧凑型品种间作有利于提高前者的 LAI。

2.2 双基因型玉米间作对棒三叶叶色值(SPADR)及净光合速率(P_n)的影响

2.2.1 双基因型玉米间作对棒三叶 SPADR 的影响

棒三叶的光合特性与籽粒产量的形成密切相关,提高棒三叶叶绿素含量,有利于提高其光合速率,增加籽粒产量。作物叶片叶绿素含量与 SPADR 呈显著正相关^[14]。本试验结果(图 3)表明,4 个品种的间作群体植株的棒三叶 SPADR 均高于各自单作群体,但差异均未达到显著水平($P < 0.05$)。

2.2.2 双基因型玉米间作对棒三叶 P_n 的影响

由图 4 可见,吐丝后 10d,ZD958 间作群体棒三叶 P_n 小于单作群体,但差异未达到显著水平($P < 0.05$),其余 3 个品种的间作群体的 P_n 均大于相应的单作群体,其中 LD981 差异达到显著水平($P < 0.05$)。

2.3 双基因型玉米间作对群体透光率的影响

保持作物群体适当的透光率,有利于满足不同层次叶片对光的需求、延缓叶片衰老、提高作物产量。试验结果表明,XD20 单作群体透光率大于其间作群体,但差异未达显著水平($P < 0.05$),HF9 间作群体透光率明显高于其单作群体,差异达到显著水平($P < 0.05$)(图 5A);ZD958 || LD981 群体透光率明显高于相应的单作

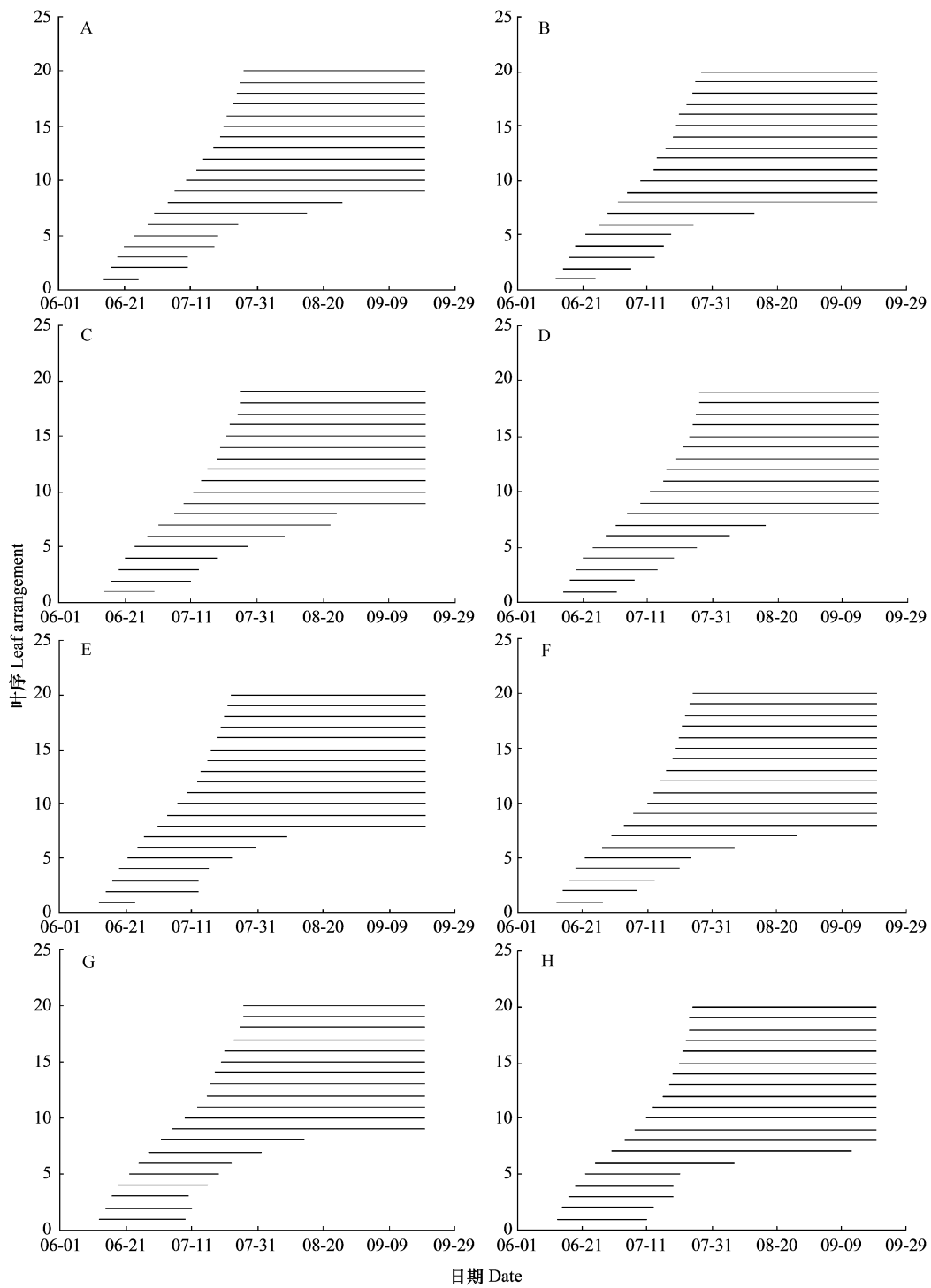


图1 单间作群体叶片发育进程

Fig. 1 Developmental process of maize leaves in sole-cropping and intercropping treatments

A 滑丰9号单作 HF9 Sole-cropping, B 滑丰9号间作 HF9 Intercropping, C 浚单20单作 XD20 Sole-cropping, D 浚单20间作 XD20 Intercropping, E 郑单958单作 ZD958 Sole-cropping, F 郑单958间作 ZD958 Intercropping, G 鲁单981单作 LD981 Sole-cropping, H 鲁单981间作 LD981 Intercropping

群体,差异达到显著水平($P < 0.05$) (图5B)。

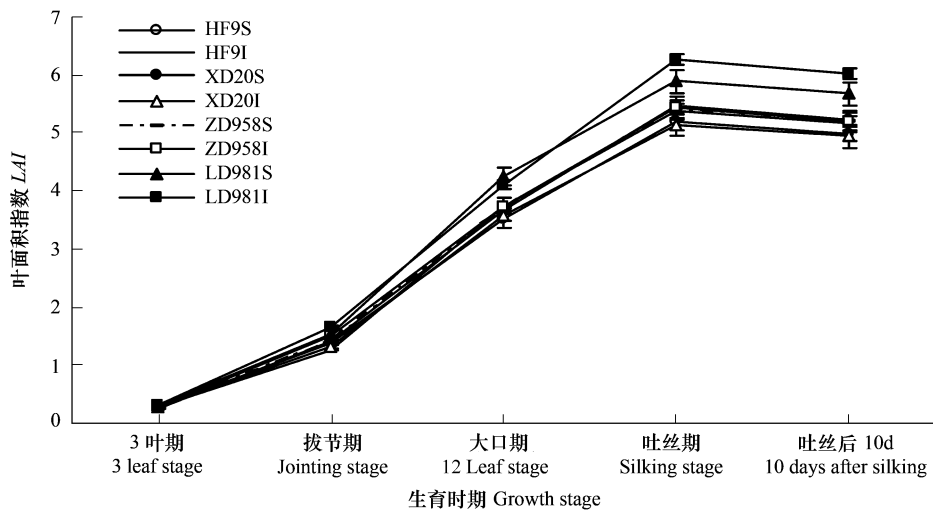


图2 不同生育时期玉米群体 LAI 的变化

Fig. 2 LAI changes of maize populations at different growth stages

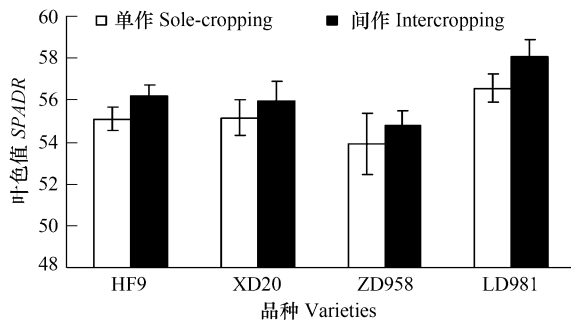


图3 吐丝后 10d 单间作群体棒三叶叶色值 (SPADR)

Fig. 3 SPADR of the three-ear-leaves 10 days after silking of maize in sole-cropping and intercropping treatments

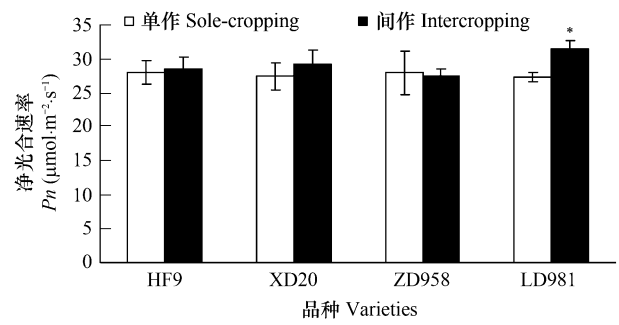


图4 吐丝后 10d 单间作群体棒三叶净光合速率 (Pn)

Fig. 4 Pn of the three-ear-leaves 10 days after silking of maize in sole-cropping and intercropping treatments

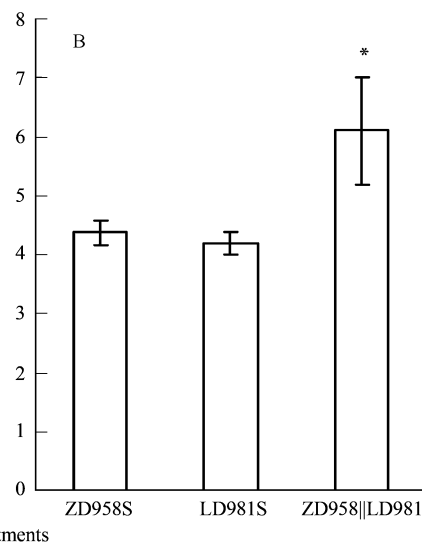
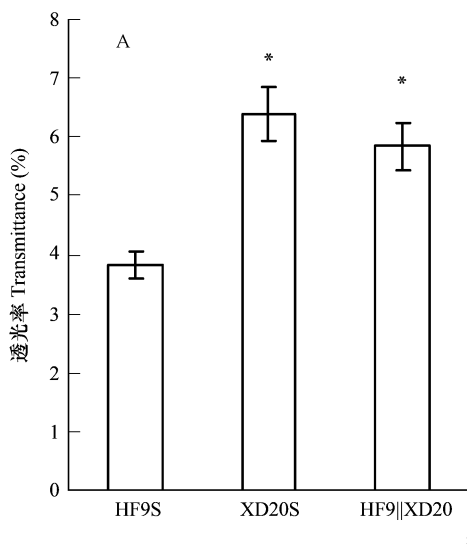


图5 吐丝后 10d 单间作群体下层透光率

Fig. 5 Population transmittance 10 days after silking in base of maize in sole-cropping and intercropping treatments

* 表示差异显著 ($P < 0.05$) indicate different significantly ($P < 0.05$)

2.4 双基因型玉米间作对群体物质生产的影响

2.4.1 双基因型玉米间作对群体干物质积累的影响

由表 1 可见,在拔节期,4 个品种的单作群体干物质积累量均大于相应的间作群体,但差异不显著($P < 0.05$);两品种单作群体干物质积累量的平均值与其复合群体的干物质积累量之间也无显著差异($P < 0.05$)。在吐丝期,HF9S 干物质积累量大于 HF9I,差异达到显著水平($P < 0.05$),其余处理间均无显著差异。在成熟期,XD20S 和 ZD958S 干物质积累量分别大于 XD20I 和 ZD958I,差异达到极显著水平($P < 0.01$);LD981I 干物质积累量大于 LD981S,差异达到显著水平($P < 0.05$);ZD958S 和 LD981S 干物质积累量之和的平均值以及 HF9S 和 XD0S 干物质积累量之和的平均值均大于其相应的间作复合群体,差异分别达到显著($P < 0.05$)和极显著水平($P < 0.01$);HF9S 群体干物质积累量大于 HF9I,但差异不显著($P < 0.05$)。从吐丝到成熟期,XD20S 和 ZD958S 干物质积累量分别大于 XD20I 和 ZD958I,差异分别达到显著($P < 0.05$)和极显著水平($P < 0.01$);LD981I 干物质积累量大于 LD981S,差异达到显著水平($P < 0.05$);HF9S 和 XD20S 干物质积累量之和的平均值大于其间作复合群体,差异也达到显著水平($P < 0.05$);其余处理间虽有所差异,但均未达到显著水平。

表 1 单作群体干物质积累($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

Table 1 Dry matter accumulation of maize in of sole-cropping and intercropping treatments (mean \pm SE)

处理 Treatments	拔节期 Jointing stage	吐丝期 Silking stage	成熟期 Maturity	吐丝后 After silking
HF9S	1777.95 \pm 84.76	8895.04 \pm 100.57 *	20952.79 \pm 323.10 *	12057.75 \pm 280.28
HF9I	1700.10 \pm 64.73	8496.79 \pm 178.31	20248.65 \pm 214.75	11751.86 \pm 342.35
XD20S	1832.96 \pm 108.34	9048.60 \pm 189.12	19905.53 \pm 237.33 **	10874.48 \pm 431.08 *
XD20I	1691.89 \pm 63.08	9031.05 \pm 221.29	18822.49 \pm 151.29	9773.89 \pm 255.32
(HF9S + XD20S)/2	1805.46 \pm 46.80	8963.04 \pm 101.99	20429.16 \pm 228.61 **	11466.11 \pm 294.23 *
HF9 XD20	1695.99 \pm 47.31	8763.92 \pm 120.03	19535.57 \pm 156.67	10762.88 \pm 193.70
ZD958S	1841.29 \pm 97.11	9272.14 \pm 195.35	22121.33 \pm 433.91 **	12849.19 \pm 539.51 **
ZD958I	1639.24 \pm 71.68	9086.74 \pm 192.54	19750.13 \pm 260.96	10663.99 \pm 267.82
LD981S	1851.98 \pm 86.66	9661.95 \pm 206.56	20292.64 \pm 298.12	10630.69 \pm 425.72
LD981I	1813.39 \pm 78.51	9945.68 \pm 247.63	21324.83 \pm 302.15 *	11379.15 \pm 284.10 *
(ZD958S + LD981S)/2	1846.63 \pm 81.91	9467.04 \pm 135.63	21206.98 \pm 295.64 *	11739.94 \pm 376.01
ZD958 LD981	1726.31 \pm 58.38	9516.21 \pm 172.82	20537.78 \pm 63.02	11021.57 \pm 194.79

* 和 ** 分别表示对应处理间差异显著($P < 0.05$)或极显著($P < 0.01$) Single and double asterisks indicate significant difference at $P < 0.05$ or $P < 0.01$ between corresponding treatments, respectively

2.4.2 双基因型玉米间作对籽粒产量的影响

ZD958I 的产量小于 ZD958S,差异达到显著水平($P < 0.05$),其余 3 个品种的间作产量则高于相应的单作产量,但差异均未达到显著水平($P < 0.05$)(图 6);HF9 || XD20 和 ZD958 || LD981 产量均大于相应单作群体产量之和的平均数(图 6),其 LER 均大于 1(表 2),结果表明两种间作组合均具有增产效应。

由表 3 可见,4 个品种的间作群体的收获指数均大于相应的单作群体,但差异均未达到显著水平($P < 0.05$)。结果虽与籽粒产量之间的差异(图 6)表现基本一致,但与吐丝后的干物质积累量之间的差异并不完全一致(表 1)。可见,间作有利于光合同化物质向籽粒中转移。

3 讨论与结论

根据作物源库流理论,强源扩库疏流是实现作物高产的重要途径。构建高质量的作物群体,就是要协调群体与个体的矛盾,达到强源扩库疏流之目的。叶片是作物最主要的供源器官。强源的基本途径就是要改善

表 2 单作群体土地当量比

Table 2 LER of maize in intercropping treatments

处理 Treatments	HF9 XD20	ZD958 LD981
LER	1.024	1.007

表 3 单间作群体的经济系数

Table 3 Harvest index of maize in sole-cropping and intercropping treatments

处理 Treatments	HF9	XD20	HF9/XD20	ZD958	LD981	ZD958/LD981
单作 Sole-cropping	53.88 ± 2.95	55.35 ± 2.76	54.60 ± 1.86	49.66 ± 2.20	53.22 ± 5.38	51.36 ± 1.86
间作 Intercropping	56.67 ± 3.85	60.43 ± 2.17	58.48 ± 2.08	52.12 ± 1.15	54.60 ± 3.95	53.41 ± 1.72

作物群体结构,促使花期形成最适叶面积和较长的功能持续期,同时达到不同层次叶片对阳光的最适接受。叶源是限制玉米产量的主要因子^[15],玉米要获得高产,必须延长功能叶的寿命,以提高和保持较高同化率^[16]。将株型互补的玉米间作,可显著提高叶片保护酶活性,延缓了叶片衰老,可维持较高的叶日积(LAI-D)^[11]。本研究通过对不同株型玉米品种的间作,改善了群体结构,吐丝期以后,除 XD20 外,其余 3 个品种的叶面积指数均有不同程度的提高,而且具有较长的叶龄期;群体的透光条件也得以改善,使不同层次叶片得到适宜的阳光辐射,延缓了叶片衰老,提高了棒三叶的叶绿素含量和净光合速率,有利于产量的提高。另外,由于 LD981 植株高大、叶片较宽大平展,对 ZD958 具有一定的遮光作用,造成后者棒三叶受光不足、净光合速率下降、产量显著降低;滑丰 9 号虽然也为半紧凑型品种,但株高、叶宽与浚单 20 基本一致,二者之间的负面影响较小。因此,在半紧凑型与紧凑型间作组合中,选择株高和叶宽基本一致的品种较为适宜,否则,将有利于植株高大、叶片较宽大平展品种生产潜能的发挥。

玉米吐丝至成熟期的干物质积累量与产量密切相关^[17]。本研究结果表明,4 个玉米品种的单、间作群体吐丝至成熟期干物质积累量均大于吐丝期,但同一品种不同处理间具有差异或显著差异,并且这种差异与籽粒产量之间的差异表现不尽一致,比如 HF9 和 XD20 的单作群体吐丝至成熟期干物质的积累量均大于相应地间作群体,但籽粒产量却小于间作群体,这可能是群体结构的改善增强了光合产物向籽粒的转移能力。可见,玉米籽粒产量不仅与吐丝至成熟期的干物质积累量密切相关,而且还取决于光合产物向籽粒的转移能力。

玉米种质遗传多样性的减少,加速了玉米品种的退化。即便是新选育出的玉米杂交种,并非是其产量的显著提高,而是对照品种退化造成的自身减产作用^[18]。不同基因型玉米的合理间作,不仅能够丰富群体遗传多样性、优化群体结构、增强群体抗逆性,而且能够有效延长优良品种的生产寿命。尽管国内外在双基因型玉米间(混)作方面开展了一些研究,但整体认识还比较肤浅,尤其是理论研究还不深入、系统,直接限制相关技术的研发、推广和应用。因此,应按照生态位互补原则,深入开展具有不同株型、生理代谢、资源利用特征及抗逆性的品种间的间(混)作研究,确立不同基因型的间(混)作模式,从而为生产应用奠定基础。

References:

- [1] Liu X H, Mou G Z. The Farming System in China. Beijing: Beijing Agricultural Press, 1993. 151 – 163.
- [2] Piepho H P. Implications of a simple competition model for the stability of an intercropping system. Ecology Model, 1995, 80: 251 – 256.
- [3] Trenbath B R. Intercropping for the management of pests and diseases. Field Crops Research, 1993, (34): 381 – 405.
- [4] Walker S, Ogindo H O. The water budget of rainfed maize and bean intercrop. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28: 919 – 926.
- [5] Ogindo H O, Walker S. Comparison of measured changes in seasonal soil water content by rainfed maize-bean intercrop and component cropping systems in a semi-arid region of southern Africa. Physics and Chemistry of the Earth, 2005, 30: 799 – 808.
- [6] Sekamatte B M, Ogenga-Latigo M, Russell-Smith A. Effects of maize-legume intercrops on termite damage to maize, activity of predatory ants and maize yields in Uganda. Crop Protection, 2003, 22: 87 – 93.

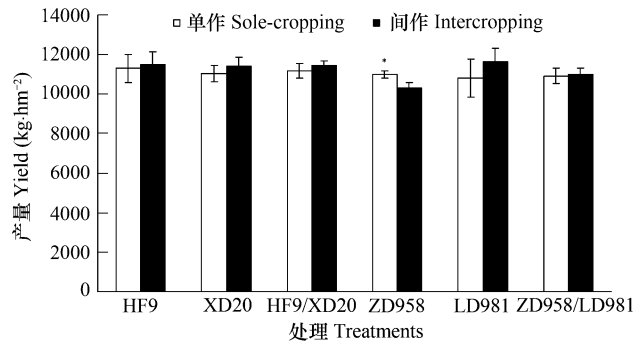
图 6 单间作群体的产量(kg·hm⁻²)

Fig. 6 Mean yield of maize in sole-cropping and intercropping treatments

- [7] Tang J C, Ismael A. Mboreha, She L N, Liao H, Chen H Z, Sun Z D, Yan X L. Nutritional Effects of Soybean Root Architecture in a Maize/Soybean Intercropping System. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(6): 1196—1203.
- [8] Zuo Y M, Liu Y X, Zhang F S. Effects of improved iron nutrition of peanut intercropped with maize on carbon and nitrogen metabolism and nitrogen-fixing of peanut nodule. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(11): 2584—2590.
- [9] Dong N, Yu C Y, Li Y L. The mechanism and technique of increasing production for maize intercropping with different genotypes. *Agricultural Science and Technology Communications*, 2002, 8: 10.
- [10] Cui J M, Song C J, Lu D W, Yang H Y, Guo S Y, Pei Z Q, Liu Z P, Lu L Y, Sun H C, Niu Y F, Zheng L M. Planting technique of long and short-stalked multistorey intercropping of different type maize Hybrid. *Rain Fed Crops*, 2005, 25(4): 253—257.
- [11] Li C H, Su X H, Sun D L. Ecophysiological characterization of different maize (*Zea mays* L.) genotypes under mono- or inter-cropping conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2096—2103.
- [12] Su X H, Li C H, Sun D L, Zhang H Z. Study on maize intercropping with different genotypes. *Journal of Maize Sciences*, 2000, 8(4): 57—60.
- [13] Zhao B Q, Li F C, Li Z J, Zhang B R. Study on the strip type of grain-vegetable inter-relay cropping. *Acta Agronomica Sinica*, 1999, 25(3): 356—362.
- [14] Ai T C, Li F M, Zhou Z A, Zhang M, Wu H R. Relationship between Chlorophyll Meter Readings(SPAD Readings) and Chlorophyll Content of Crop Leaves. *Journal of Hubei Agricultural College*, 2000, 20(1): 6—8.
- [15] Djisbar A. Heterosis for embryo size and source and sink components of maize. *Crop Science*, 1989, 29(4): 985—991.
- [16] Bao J S, Xue J Q, He Y C, Yang C S, Hu X P. Study on the relation between Canopy characteristics and production in different Compact Maize Population. *Acta Agriculture Boreali-occidentalis Sinica*, 1992, 1(2): 25—29.
- [17] Hu C H, Dong S T, Wang K J, Sun Q Q. Development of growth characteristics of maize varieties in different years in China II. Development of matter production characteristic. *Journal of Maize Science*, 1998, 6(3): 49—53.
- [18] Dai J R. To develop breeding science of maize and meet the challenge in the 21st Century. *Crops*, 1998, 6: 1—4.

参考文献:

- [1] 刘巽浩, 牟正国. 中国耕作制度. 北京: 农业出版社, 1993. 151~163.
- [7] 唐劲驰, Ismael A. Mboreha, 余丽娜, 廖红, 陈怀珠, 孙祖东, 严小龙. 大豆根构型在玉米/大豆间作系统中的营养作用. *中国农业科学*, 2005, 38(6): 1196~1203.
- [8] 左元梅, 刘永秀, 张福锁. 玉米/花生混作改善花生铁营养对花生根瘤碳氮代谢及固氮的影响. *生态学报*, 2004, 24(11): 2584~2590.
- [9] 董宁, 于长英, 李永禄. 玉米不同品种间作增产机理及栽培技术. *农业科技通讯*, 2002(8): 10.
- [10] 崔俊明, 宋长江, 卢道文, 杨海燕, 郭素英, 裴振群, 刘智萍, 芦连勇, 孙海潮, 牛永锋, 郑丽敏. 不同类型玉米杂交种高矮立体间作种植技术研究. *杂粮作物*, 2005, 25(4): 253~257.
- [11] 李潮海, 苏新宏, 孙敦立. 不同基因型玉米间作复合群体生态生理效应. *生态学报*, 2002, 22(12): 2096~2103.
- [12] 苏新宏, 李潮海, 孙敦立, 张怀志. 不同基因型玉米间作研究初报. *玉米科学*, 2000, 8(4): 57~60.
- [13] 赵秉强, 李凤超, 李曾嘉, 张保仁. 粮菜间套作带型运用规律的研究. *作物学报*, 1999, 25(3): 356~362.
- [14] 艾天成, 李方敏. 作物叶片叶绿素含量与 SPAD 值相关性研究. *湖北农学院学报*, 2000, 20(1): 6~8.
- [16] 鲍巨松, 薛吉全, 郝引川, 杨成书, 胡小平. 紧凑型玉米不同群体的冠层特征和物质生产关系的研究. *西北农业学报*, 1992, 1(2): 25~29.
- [17] 胡昌浩, 董树亭, 王空军, 孙庆泉. 我国不同年代玉米品种生育特性演进规律研究 II. 物质生产特性演进. *玉米科学*, 1998, 6(3): 49~53.
- [18] 戴景瑞. 发展玉米育种科学迎接 21 世纪的挑战. *作物杂志*, 1998, (6): 1~4.